

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVACÍ TECHNOLOGIE PRO ROBOTIZOVANÉ SVAŘOVÁNÍ

WELDING TECHNOLOGIES FOR ROBOTIZED WELDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR BUTEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. BOHUMIL KANDUS

BRNO 2008

ABSTRAKT

BUTEK PETR: Svařovací technologie pro robotizované svařování

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia objasňuje volbu svařovací technologie pro robotizované svařování. Na základě rešerše dostupné literatury a zkušeností z praxe jsou objasněny dva hlavní automatizační prostředky (svařovací robot a svařovací automat), včetně zohlednění ekonomických aspektů. Hlavní část práce se věnuje problematice základních svařovacích technologií vhodných pro ruční, poloautomatické a automatizované svařování. Základní principy jsou doplněny o výhody, nevýhody a možnosti nasazení dané metody v průmyslu.

Klíčová slova:

Svařovací robot, Svařovací automat, Svařovací technologie

ABSTRAKT

BUTEK PETR: Welding technologies for robotized welding

The bachelor's project explains a choice of welding technologies for robotized welding. There are clarified two main automatic machines (welding robot and welding automat), which are supported by economical aspects. The main part of project describes general welding technologies useful for manual, semiautomatic and automatic welding including their benefits, disadvantages and possibilities of application in industry. The project is based on bibliographic search and author's experiences.

Keywords:

Welding robot, Welding automat, Welding technologies

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUTEK Petr: Svařovací technologie pro robotizované svařování. Brno, 2008. 33 s., CD.
FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie tváření kovů a plastů.
Vedoucí práce Ing.Bohumil Kandus. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 23.5.2008

.....
Petr Butek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD	8
2. HISTORIE SVAŘOVÁNÍ	9
2.1. Automatizace ve svařování	9
2.2. Cíle automatizace	10
3. AUTOMATIZAČNÍ PROSTŘEDKY VE SVAŘOVÁNÍ	11
3.1. Svařovací automaty	11
3.2. Svařovací roboty	13
4. EKONOMICKÉ ASPEKTY VE SVAŘOVÁNÍ	15
4.1. Zásady pro volbu automatu a robotu	15
4.1.1. Cenová analýza	15
4.1.2. Sériovost výroby	15
4.1.3. Další zásady pro volbu svařovacího zařízení	16
5. SVAŘOVÁNÍ	17
5.1. Definice svařování	17
5.2. Rozdělení svařovacích metod automatizovaného svařování	17
6. ROBOTIZOVANÉ A AUTOMATIZOVANÉ TECHNOLOGIE	18
6.1. Metody tavného svařování	18
6.1.1. Úvod do obloukového svařování v ochranných atmosférách	18
6.1.2. Svařování metodou WIG	18
6.1.3. Svařování metodou MIG/MAG	20
6.1.4. Ekonomická bilance metod svařování v ochranných atmosférách	21
6.1.5. Svařování elektrickým obloukem pod tavidlem	22
6.2. Speciální metody tavného svařování	23
6.2.1. Laserové svařování	23
6.2.2. Plazmové svařování	24
6.2.3. Elektronové svařování	26
6.3. Tlakové svařovací metody	28
6.3.1. Odporové svařování bodové	28
6.3.2. Ultrazvukové svařování	29
7. ZÁVĚR	31
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	

1) Úvod

Svařování spolu s obráběním, tvářením, povrchovými úpravami a dalšími obory tvoří hlavní oblasti strojírenské technologie. Co do rozsahu svařování nezaujímá největší objem mezi technologiemi, řadí se však mezi nejvýznamnější v oblastech zpracování kovových materiálů, což dostatečně poukazuje na její důležitost v moderní době.

Svařování umožňuje vznik nerozebíratelných spojení. Tyto pevné spoje jsou aplikovány ve všech oborech průmyslu. Nejvýznamnější místa uplatnění nachází v automobilovém, leteckém, lodním a kosmickém průmyslu.

Svařování spolu s dalšími technologickými obory v poslední době zaznamenává silný růstový trend. Je to způsobeno rozvojem automatizace, která umožňuje vznik a rozvoj nových svařovacích metod s uplatněním moderních automatizačních prostředků.

Moje práce se zabývá problematikou svařovacích technologií určených pro automatizované zařízení. Jedná se o problematiku svařování v ochranných atmosférách, speciální metody svařování a odporové svařování.

Požadavky kladené na svařovací metody a zařízení jsou v současné době stále více podmíněny ekonomickými charakteristikami, které bezprostředně ovlivňují ekonomickou a finanční stránku výrobního procesu

Práce je zpracována rešeršním způsobem. Neřeší tedy žádný konkrétně zadaný úkol z praktického hlediska. Je vhodná zejména pro techniky, ale i všechny zájemce o technologii svařování, kterým může posloužit jako literární studie.

2) Historie svařování [1]

Technologie svařování je věda známa po celá dlouhá staletí. Mezi nejstarší metody svařování používané v ranné historii patří svařování slévárenské a kovářské. Jejich vznik se dá časovat do doby, kdy lidé začali zpracovávat kovy. Již v této době věda a technika měla tendenci se zlepšovat a tedy s časem dosahovat lepších, modernějších a dokonalejších postupů, které nahrazovaly ty stávající. Rozvoj svařování nastává současně s rozvojem ostatních vědních disciplín. Postupnými kroky šel k rychlejším a propracovanějším metodám výroby těchto tuhých spojů, jež pomalu dostávala charakter velmi perspektivní technologie, zabývající se zpracováním převážně kovových materiálů.

Vrcholný rozmach nastal v průběhu 80. let 19. století, kdy byly vynalezeny a o pár let později v průmyslu aplikovány tři základní metody svařování. Jednalo se o vytvoření svařence pomocí elektrického oblouku, plamene a odporu. Tyto metody byly dále rozvíjeny především díky uplatňování nových poznatků a zkušeností ve výrobě a dále zlepšovány.

Obrovský skok těchto technologií nastává v době, kdy se v technice začíná objevovat nový prvek – automatizace. Tento prvek nejen že umožní další rozvoj již aplikovaných metod, ale také i vznik nových.

Automatizace následně ovlivnila strojírenskou technologii na další dlouhá léta a tento trend bude pokračovat i v budoucnosti.

2.1) Automatizace ve svařování [4],[6]

Moderní trend v průmyslové výrobě spolu s novými poznatky vědy a techniky, kladl značné požadavky na novou techniku. Tyto požadavky vedly konstruktéry, technology a další odpovědné pracovníky k myšlence postupné automatizace.

Strojírenství umožňuje krýt nárůst těchto požadavků převážně růstem produktivity práce z čehož vyplývá, že nejdůležitějším zdrojem zvyšování technické úrovně a efektivnosti je masové zdokonalování konstrukcí, technologických a výrobních postupů, které zaručí v relativně krátkém čase zvyšovat výrobu a hlavně pružně zajišťovat inovační proces.

Svářečská výroba tvoří více než 10% z celkového objemu výroby průmyslu a řadí se k nejvýznamnějším technologiím zpracovávající kovové materiály což dostatečně vyzdvihuje důležitost rozvoje této technologie.

Svařování patří k technologiím, které lze poměrně dobře automatizovat. Jedná se o proces postupného nahrazování lidského faktoru mechanickými a automatizačními přístroji, jejichž práce je zabezpečena lidským činitelem. Tím dochází k eliminaci lidského faktoru, a tedy úsporu strojního času, materiálu a dalších prvků, které povedou ke snižování nákladů.

V současné době je využívání svařování na porovnatelné úrovni s vyspělými průmyslovými státy a jejich nasazení proniklo téměř do všech oborů lidské činnosti.

Automatizaci je potřeba vždy chápat jako komplexní úkol. Při řešení určitého problému je nutno vycházet z požadavku nejen technologického procesu, ale i volit optimální řešení s ohledem na ekonomické, ekologické a další požadavky.

2.2) Cíle automatizace [3]

Jako každý pokrok provázející společnost, tak i pokrok ve svařování představující automatizaci byl na začátku podmíněn cíly, které chtěli lidé dosáhnout. Nutno podotknout, že spoustu cílů se podařilo úspěšně realizovat, ale řada z nich zůstává stále nedořešených.

Není možné nežádoucí jevy provázející svařování zcela vyloučit, neboť jsou fyzikálních procesů. Je však možné vhodnými opatřeními v oblasti konstrukční a technologické přípravy je podstatně minimalizovat.

Mezi nejvýznamnější příklady úspěšně vyřešených úkolů bych uvedl:

- a) zvýšení kvality a funkčních a technických vlastností svařovaných spojů
- b) zvýšení produktivity a přesnosti
- c) snížení nákladů na výrobu
- d) nepřetržitost práce
- e) práce ve ztížených pracovních podmínkách
- f) programovatelnost a variabilnost výroby

Naopak za nedostatečně řešenou problematiku považuji:

- a) vznik vnitřních napětí a deformací
- b) změna struktury a mechanických vlastností svarového spoje
- c) tepelně ovlivněná oblast
- d) skryté vnitřní vady ve svarech, které mohou být zdrojem porušení

V těchto bodech bych viděl prozatímní limitující faktory této technologie a tudíž i možnost dalšího zlepšování.

3) Automatizační prostředky ve svařování [4],[6]

Automatizace výrobních strojů je v průmyslu umožněna pomocí několika typů mechanismů. V oblasti svařování se jedná o manipulátory, automatické ruky, roboty nebo univerzální podávací zařízení, které stále více nahrazují lidského činitele při manipulaci s materiálem.

Moderní výrobu je možné zajistit pouze při použití špičkové techniky. Trend ve vývoji těchto zařízení vede ke stále větším výkonům a technickým parametrům, což ve svých důsledcích přináší možnost širšího využití a tedy požadovanou efektivnost.

Z vlastní zkušenosti z praxe zastávám názoru, že hlavní automatizační prostředky ve svařování v dnešní době představují svařovací automaty a roboty. Proto se dále budu zabývat zejména těmito přístroji.

Jedná se o automatizované programové zařízení vykonávající pohyby podobné činnosti lidské ruky. Svým provedením, pohonem či funkcí jsou nezávislé na obsluhovaném stroji. Převážná většina těchto zařízení potřebuje dokonalou komunikaci se svým okolním prostředím z důvodů neschopnosti se přizpůsobit náhodilostem. Možnosti těchto komunikací je dáno informačními vstupy definovaných od uživatele. V průběhu své činnosti se proto řídí pomocí různých čidel, sensorů a fotonků, které poskytují všechny důležité parametry, na jejichž základě vyhodnocují veškeré údaje ohledně pohybu, poloze či správnosti svařovacího procesu. Tak tyto zařízení nejen že komunikují se svým pracovním prostředím, ale taky i s člověkem - obsluhou, který celou operaci řídí.

3.1) Svařovací automaty [10]

Pod pojmem svařovací automat rozumíme jednoúčelové svařovací zařízení (JUS) především určené pro předem přesně specifikované svařovací operace.

Velice jednoduše a rychle se dají svařovat zejména spoje, které jsou lineární a kruhové – tedy tvarově relativně jednoduché.

Automat v převážné většině má jednu poháněnou osu, která pohybuje buď svařovací hlavou s hořákem, hlavně u lineárních svarů, nebo přípravkem, převážně u kruhových spojů.

Lze svařovat i tvarově složitější pevné spoje, avšak pouze takové, u nichž výsledný pohyb bude variací těchto základních pohybů (lineárního a kruhového).

Nelze touto kombinací provádět svary zakřivené v prostoru, kde se plynule mění tvar výsledné křivky s úhlem natočení hořáku.

Automaty jsou vždy navrženy na jeden typ sváru. To znamená, že nelze libovolně změnit tvar trajektorie hořáku. Proto se v praxi setkáváme s širokou škálou těchto strojů, které se od sebe konstrukčně nebo technologicky liší. S tímto poznatkem je potřeba počítat při různých návrzích a volbách. Proto bych jeho hlavní uplatnění, ne však jedině, viděl ve velkosériové výrobě určitého sváru.

Automatické zařízení je v dnešní době hlavně řízeno pomocí elektrického pohonu. Předností tohoto pohonu jsou snadný rozvod energie, čistota provozu, jednoduché spojení s řídicími systémy, menší rozměry zařízení a další. V některých

případech se stále ještě využívají pneumatické nebo hydraulické pohony, avšak jejich funkce jsou již vedlejší – pomocné.

Jednouúčelový stroj se liší od robotizovaných zařízení tím, že nevypočítává nulovou polohu nástroje a jeho úhel natočení v prostoru, nýbrž pracuje pouze se souřadnicemi jednotlivých os, které může vzájemně kombinovat (např. lineární s kruhovou při tvorbě elipsovitého svaru nebo lineární a lineární na ploše – 2D systém,...)

Hlavní části automatu jsou:

- a) svařovací hlava
- b) pohybové osy
- c) řídicí jednotka
- d) svařovací zdroj

Výhody použití JUS vzhledem k robotu:

- pořizovací cena
- jednoduchost zařízení (rychlejší opravy)
- kratší pracovní cyklus
- nižší poruchovost
- menší nároky na kvalifikaci obsluhy
- menší, kompaktnější zařízení (manipulovatelnost)
- možnost svařování dvěma a více hořáky na jednom zařízení

Tyto výhody jsou důvodem stálého zájmu a konkurenceschopnosti těchto zařízení vůči robotům, které se snaží zcela nahradit veškeré průmyslové stroje a manipulátory.

Netroufám si odhadnout procentuální využití těchto strojů. Stále však jsou tyto přístroje žádaným a využívaným zbožím pro obchodníky produkující sváry.

Příklady svařovacích automatů:

- Obr. 1) Automat pro podélné svařování SAP 500M určený pro výrobu menších kruhových dílů ze stočeného plechu [10]
- Obr. 2) Automat pro obvodové svařování SAO 300 určený pro obvodové svařování menších rotačních dílů [10]



Obr. 1)



Obr. 2)

3.2) Svařovací roboty [1],[3],[11],[12]

Roboty jsou univerzální, automatické, volně programované manipulační zařízení, představující výkonnou, komfortní a přesnou svařovací techniku.

Pomocí těchto přístrojů lze vytvořit tvarově složité, obtížně přístupné a přesné prostorové sváry, které by jinými přípravky nebylo možné. Přesnost u dnešních robotů dosahuje až $\pm 0,1$ mm.

Pro tyto náročné operace jim musí být umožněno nastavování polohy a orientace nástroje podle požadavků příslušné, bezprostředně realizované technologické operace. Pro dosažení libovolného bodu v prostoru je nutné 3 stupně volnosti, pro libovolnou orientaci nástroje je potřeba dalších 3 stupňů volnosti. Proto průmyslové roboty mají zpravidla 6 stupňů volnosti. Často tyto zařízení mají několik ramen nebo kloubů, proto se setkáváme s roboty, které mají i 9, 10 stupňů volnosti, zejména pro činnost v těžce přístupných prostorách.

Koncepce a kinematika pohybových částí robotů vychází z umělé reprodukce funkcí lidské ruky. Každý průmyslový robot je charakterizován určitým kinematickým principem, který do značné míry ovlivňuje jeho možnosti a tím i jeho použití. Zároveň vymezuje určitý operační prostor, do jehož libovolného bodu může zasáhnout.

Kinematické schéma se dá popsat jako kinematická soustava tří základních složek :

- kinematikou základu
- kinematikou polohovacího ústrojí
- kinematikou zápěstí

Roboty využívají čtyř základních skupin souřadnicových systémů:

- pravoúhlý – se třemi posuvnými dvojicemi. Jedná se o tři lineární pohyby v souřadnicích x, y, z , kde pracovním prostorem je kvádr.
- válcový – se dvěma translačními a jednou rotační dvojicí, což znamená dva lineární pohyby v souřadnicích x, z a rotaci kolem osy z . Pracovní prostor je válcový prstenec.
- sférický – se dvěma rotačními a jednou translační dvojicí, kde se jedná o jeden lineární pohyb v souřadnici x , naklápění v rovině s osou z a rotaci kolem osy z . Pracovní prostor je kulový prstenec.
- úhlový - se třemi rotačními dvojicemi, kde prostorem je torusový prstenec.

Robot je v dnešní době zpravidla řízen, stejně jako automat, pomocí elektrického pohonu v kombinaci s vedlejšími převážně pneumatickými pomocnými pohony. Opět je to z důvodů výše uvedených a hlavně kvůli vysoké přesnosti polohování u krokových motorů a velmi dobré seřiditelnosti.

Robotizované svařovací zařízení obsahuje tyto části:

- a) svařovací hlava
- b) pohybové osy v ramenách
- c) zdroj svařovacího napětí, proudu, popřípadě posuvu drátu
- d) řídicí jednotka



Obr. 3) Univerzální svařovací robot a svařovací zdroj [11],[12]

Části robotů jsou závislé na použité technologii. U obloukových metod navíc musí být zařízení na podávání drátu, u laseru optika a další specifické zařízení bez kterých by daný způsob svařování nemohl proběhnout.

Pracovním orgánem daných zařízení je úchopná nebo technologická hlavička. Konstrukce musí umožňovat dobrý přístup do pracovních míst. Jsou vždy navrženy pro požadovanou svařovací technologii (např. metodu mag, wig a další) se speciálními rozměry, tvary a specifickými požadavky pro danou metodu.



Obr. 4) Technologická hlavička obloukového svařování [11]

Hlavičky robotu musí umožňovat a zabezpečovat snadné:

- upnutí a přesné nastavení hořáku
- upnutí snímačů polohy svarových hran, spojů případně překážek
- upnutí manipulačních mechanizovaných přísunů a odsunů snímačů
- upnutí kompletu vedení kabelů a hadic
- uvolnění z technologické hlavičky

Výhody použití robotu vzhledem k JUS:

- vysoká variabilita svařování
- schopnost vytvářet složité tvarové spoje
- univerzálnost

4) Ekonomické aspekty ve svařování

Jedna z nejdůležitějších stránek moderní technologie je její ekonomika. Hospodárnost a efektivnost jsou rozhodujícími faktory úspěchu na obchodním trhu. Základní zásady svářečské výroby ovlivňuje množství faktorů zasahujících do nejrůznějších oblastí.

Volba svařovacího zařízení podléhá několika vlivům, které se významně projevují v ekonomické jeho využití. Vzhledem k tomu, že podmínky jsou v každé organizaci jiné, je nutné znát základní zásady a fakta o efektivnosti výroby.

Pro efektivní a ekonomickou výrobu je pak třeba zvážit všechny tyto hlediska a vybrat tu variantu, která je nejvíc přijatelná.

4.1) Zásady pro volbu automatu a robotu

Každý, kdo se rozhodne pořídit svařovací automat, robot nebo jiné pomocné svařovací zařízení, měl by mít na paměti, že vždy to bude spojené s jednorázově vysokou investicí, která je v této fázi nezbytná.

U každé takové investice je nutno odpovědně posoudit obětování finančních zdrojů ve prospěch nejistého budoucího výnosu.

Volba svařovacího zařízení je podmíněna několika faktory. Výsledek práce obou zařízení je stejný, ale v rámci efektivity se tyto přístroje využívají v jiných pracovních podmínkách. Několik důležitých zásad je popsáno v následujících bodech.

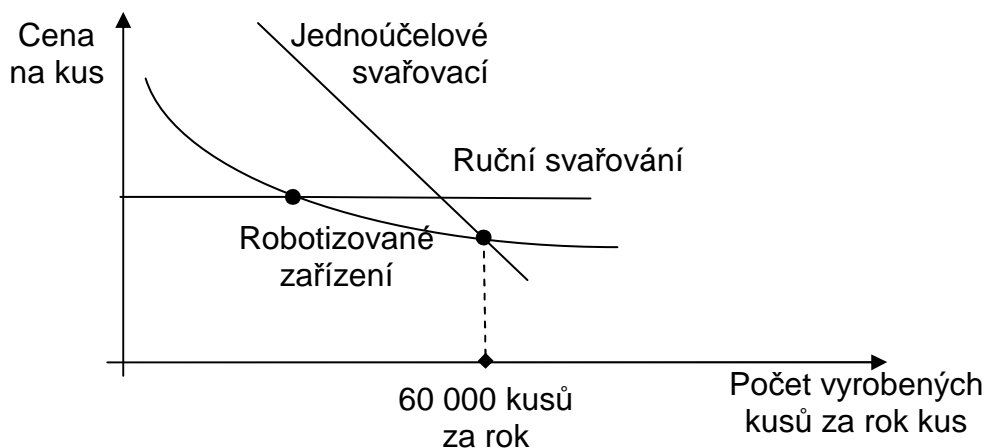
4.1.1) Cenová analýza

Z finančního hlediska, do kterých bych zahrnul pořizovací cenu, náklady na opravu, cenu náhradních dílů a náklady na elektrickou energii jednoznačně vyhrává automat. Pořizovací cena automatu, která je u těchto strojů v řádu milionů je přibližně deseti násobně nižší než u robotu. Automat má mnohem jednodušší zařízení, to znamená, že náhradní díly a celkové vybavení bude levnější. Jednodušší zařízení vykazuje menší poruchovost, což znamená ne až tak časté opravy, které přispějí k plynulosti výroby. Náklady na energii plynoucí z provozu stroje jsou závislé na parametrech svařování, tedy proud a napětí. Nutno však k tomu připočítat energii, kterou stroj odebírá v provozu naprázdno - ve vedlejším čase. Robot je několikanásobně energeticky náročnější zařízení, a tedy mnohem dražší. Proto z těchto důvodů je automat více přijatelnou variantou.

4.1.2) Sériovost výroby [2]

Sériovost výroby výrazně ovlivňuje volbu zařízení. Sériovost znamená počet vyrobených kusů v určitém časovém období. Každý vyrobený kus obnáší zisk, který postupně smazává počáteční jednorázovou investici. Jelikož robot je dražší, potřebuje tedy mít větší ziskovost než-li automat. Z obrázku 5 vyplývá, že robot se více uplatňuje pro nižší sériovost z důvodů delšího strojního času, ale hlavně z hlediska vhodnosti pro složité, a tedy mnohem dražší sváry, což dostatečně vykompenzuje veškeré náklady. Automat oproti robotu má mnohem kratší pracovní cyklus. Rozdíl v produkci za směnu nebo jinou dobu bývá často relativně velký. Proto

je schopen zvládnout mnohem větší sérii za stejnou dobu. Na ukázkou porovnání těchto zařízení s ručním svařováním.



Obr. 5) Graf znázorňující vliv sériovosti na volbu zařízení

4.1.3) Další zásady pro volbu svařovacího zařízení

Mezi další faktory ovlivňující volbu svařovacího zařízení bych ještě doplnil nároky na přesnost, životnost stroje popřípadě kvalifikaci obsluhy.

V dnešní době obě svařovací zařízení mohou vyrábět s velmi vysokou přesností v řádech desetin milimetru. Roboty kvůli svojí hmotnosti mají tendenci oproti automatům vibrovat. To zapříčiní jeho nepřesnost a nutnost k seřízení. Nepřesnost ve výrobě však vzniká i u automatu. Z toho důvodu se domnívám, že se v provozu pracuje s přesností o málo menší.

Při návrhu a konstrukci strojů se počítá s dlouhou trvanlivostí. Avšak tento fakt výrazně ovlivňuje strojní využití. Při vysokém a namáhavém používání je životnost stroje kratší, a to platí pro obě zařízení. Proto se vždy musí vybírat přístroj tak, aby pracoval při efektivních provozních parametrech.

Kvalifikace obsluhy musí být úměrné složitosti zařízení. V praxi se provádí školení svářečského personálu, na základě čehož jsou lidé rozděleni do jednotlivých skupin svářečského technika.

V konečném součtu příčinou neúspěšných aplikací ve většině případů nejsou roboty či automaty jako technické prostředky. Hlavním důvodem většinou bývá nesplnění všeobecných podmínek pro automatizaci. Proto specifikace pracoviště je komplexní problém, který musí být pečlivě zvážen všemi odpovědnými pracovníky.

5) Svařování

5.1) Definice svařování [1]

Svařování je proces zhotovování nerozebíratelných spojů pomocí soustředěného tepla při teplotě tavení obou materiálů nebo tlaku vyvolávající deformaci kontaktních ploch popřípadě obojího účinku.

Spojení nastane působením meziatomových vazebných sil na teplem nebo tlakem aktivovaných plochách.

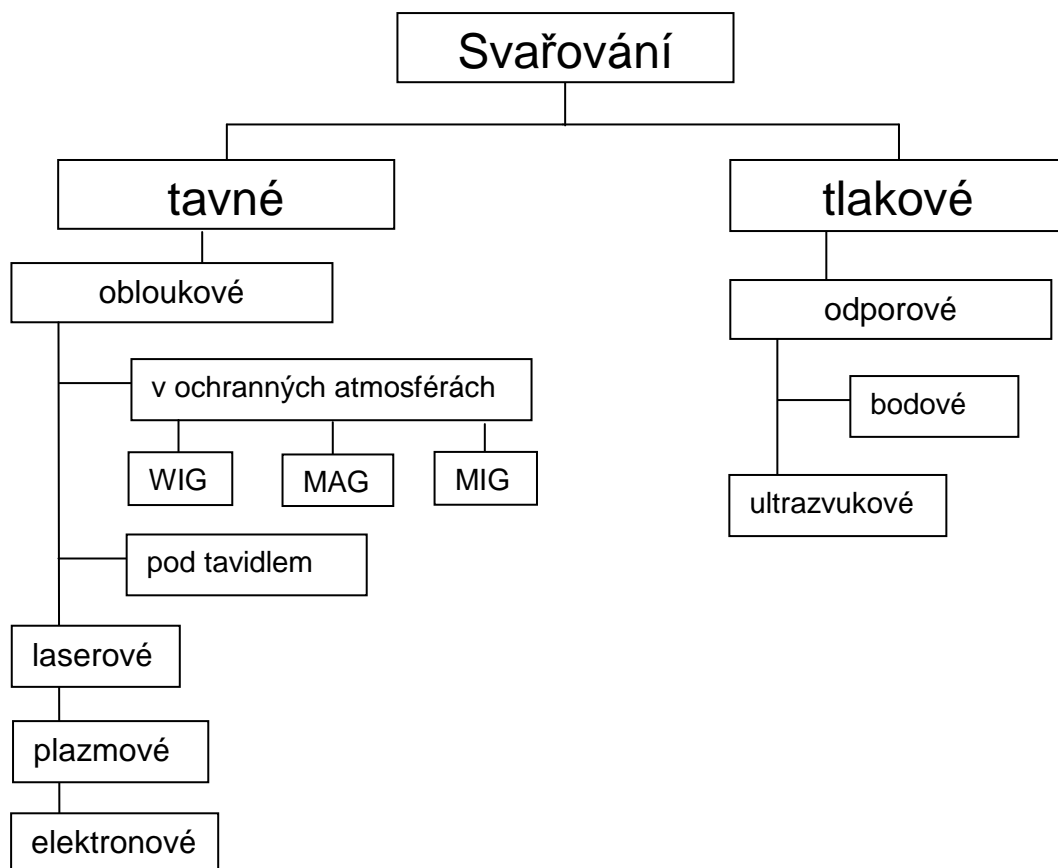
Cílem technologické operace svařování je vyrobit vyhovující spojení určitých částí povrchů dvou nebo více dílů s požadovanými vlastnostmi.

5.2) Rozdělení svařovacích metod automatizovaného svařování [1]

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny a to metody tavného svařování a metody tlakového svařování.

U tavného svařování je vytvoření spoje dosaženo přívodem tepelné energie do oblasti svaru a dendritickou krystalizací roztaveného svarového kovu.

Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie, která formou makro nebo mikrodeformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost působení meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj.



Obr. 6) Rozdělení svařovacích metod

6) Robotizované a automatizované technologie [2],[6]

V posledních letech můžeme pozorovat silný pokles veškerých ručních metod. Naopak výrazný nárůst směřuje k automatizovaným metodám. Rovněž můžeme pozorovat rozvoj moderních metod, kam patří především plazmové a laserové svařování.

Nejvyšší tempo růstu dosahuje svařování v ochranných atmosférách. Důvody pro tento silný vzestup bych viděl především ve vysoké produktivitě a relativně nízkých nákladech.

Na způsobu svařování má hlavně vliv typ a konstrukční provedení svařence, druh a tloušťka materiálu, rozměr a hmotnost konstrukce.

Konstruktéři a technologové mají možnost při současném stavu svařovací techniky si vybrat z velkého množství vhodných technologií.

Základní přehled o technologiích svařování a jejich vlastnostech hraje důležitou roli při rozhodování o vhodném použití ve výrobě.

6.1) Metody tavného svařování

6.1.1) Úvod do obloukového svařování v ochranných plynech [1]

Současný rozvoj této oblasti svařování je hnacím motorem veškerého svařování. Obloukové metody jsou nejpoužívanějšími technologiemi aplikovanými na automatizovaných výrobních systémech tavného svařování.

V principu se jedná o hoření elektrického oblouku v ochranných plynech, které plní při procesu důležité funkce, jako jsou zamezení přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Ochranné plyny mají také významný vliv na přenos tepelné energie do sváru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování a další parametry.

Jednotlivé technologie se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu. Z tohoto hlediska pracujeme s metodami WIG, MIG a MAG.

6.1.2) Svařování metodou WIG [1],[7],[8]

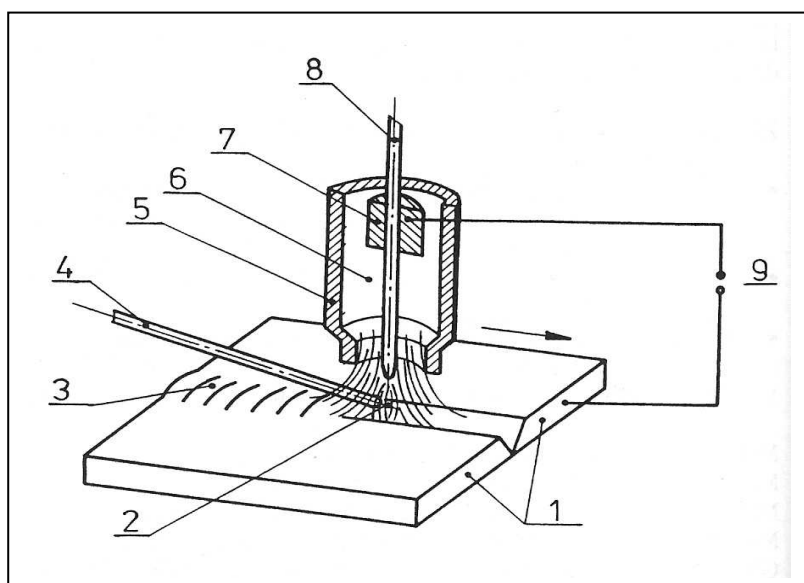
Zkratka WIG (wolfram inert gas) znamená svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu. Jako inertní plyn se využívá netečného plynu o vysoké čistotě, jako jsou argon, helium nebo jejich směsi. Pro svařování WIG se nejčastěji používají tyto kombinace: 70% Ar + 30% He, Ar-He 50/50, 30%Ar + 70% He. Netavící se wolframové elektrody používané při svařování se vyrábějí čisté bez příměsí o čistotě až 99,9 % W nebo legované oxidy kovů (thoria, lantanu, ceru).

Princip metody je znázorněn na obrázku 7. Spočívá v hoření elektrického oblouku mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Tato metoda lze realizovat s přídavným materiálem i bez něj, a to jak ručním (svařovací tyčky), tak automatickým (svařovací dráty) způsobem. Přídavné Materiály mají vhodné chemické složení a kvalitní jakost povrchu. Jejich funkce jsou doplnění objemu

svarového kovu, legovat kov přísadami, které zlepšují užité vlastnosti svaru a zlepšení formování sváru.

Svařování lze rozdělit dle druhu proudu na svařování střídavým proudem pro hliník, hořčík a jejich slitiny a svařování stejnosměrným proudem pro středně a vysoce legované oceli typu mědi, niklu, titanu, zirkonu a dalších.

Svařování stejnosměrným proudem je základní způsob zapojení při svařování metodou WIG. Svařování střídavým proudem se používá z důvodu čistícího účinku na svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. přídavný materiál
5. plynová hubice
6. ochranný plyn
7. kontaktní kleštiny
8. wolframová elektroda
9. zdroj proudu

Obr. 7) Princip tavného svařování WIG [8]

Pro uhlíkové oceli se metoda WIG používá méně z důvodu nebezpečí vzniku pórů ve svaru a z ekonomického hlediska.

Svařování wolframovou elektrodou se používá i pro spojování obtížně svařitelných materiálů s vysokou afinitou ke kyslíku např. titanu a zirkonu. Obecně je však metoda WIG málo produktivní kvůli nízké účinnosti přenosu tepla (asi 60%).

Technologické výhody WIGu:

- čistý povrch svaru
- elektrický oblouk vysoké stability v širokém rozsahu svařovacích proudů
- zajišťuje vysokou operativnost při svařování v polohách
- jednoduchá obsluha a přesná regulace parametrů svařování
- svary mají malou tepelně ovlivněnou oblast a minimální deformace
- možnost velmi přesného dávkování množství tepla vneseného do svaru

Použití metody WIG:

- svařované konstrukce z vysokolegovaných ocelí pro chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl, klasickou i jadernou energetiku
- žárupevné a žáruvzdorné oceli pro stavbu kotlů, tepelných výměníků a pecí
- titanové a speciální slitiny v oblasti výroby letadel a kosmické techniky
- slitiny hliníku v oblasti dopravní techniky i všeobecného strojírenství

6.1.3) Svařování metodou MIG/MAG [1],[8]

Tyto technologické metody jsou založeny na principu svařování v ochranných atmosférách aktivního plynu u MAGu (metal active gas) a inertního plynu u MIGu (metal inert gas), kdy dochází k hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem. Princip metody je znázorněn na obrázku 8.

Jako ochranné plyny pro metodu MAG se používá čistý plyn oxid uhličitý CO_2 nebo stále častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu - argonu s oxidem uhličitým nebo kyslíkem. U metody MIG se většinou využívá čistý plyn argon nebo helium popřípadě jejich směs.

Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu. Pro kvalitní svařování ocelí jsou nutné oxidační reakce. Ty nám zaručí čistý svarový kov s dobrými mechanickými vlastnostmi. Argon jako inertní plyn má dobrou ionizační schopnost, proto se výhradně používá pro neželezné kovy (slitiny hliníku), při kterých nesmí dojít k oxidaci. Oxid uhličitý jako aktivní plyn má relativně obtížnou ionizační schopnost a je tedy vhodný u běžných konstrukčních ocelí.

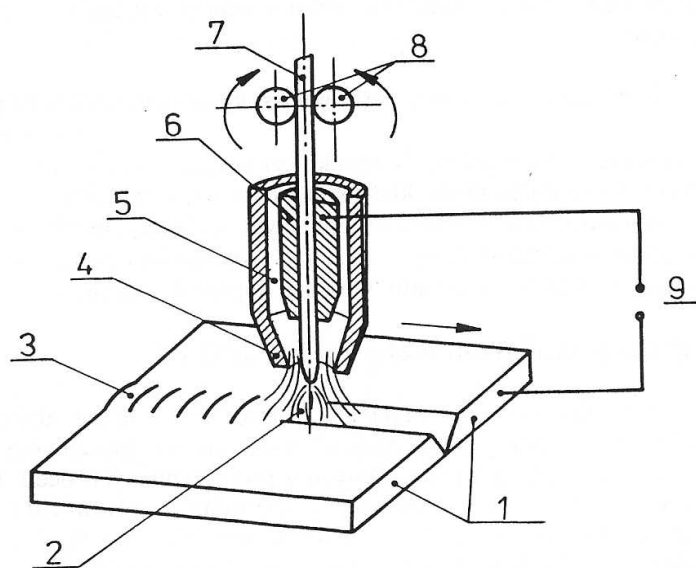
Jako přídavný materiál se používá materiál ve formě plněného drátu o libovolném průměru, které mohou být bezešvé nebo tvarově uzavřené. Náplň plněných drátů tvoří bazické, kyselé, rutilové případně fluoridové struskotvorné přísady, které vytvoří na povrchu sváru tenkou vrstvu strusky. Drát je zpravidla navinutý na cívce a přepravován v lepenkovém balení.

Pro svařování metodami MIG/MAG se používají zdroje se stejnosměrným výstupem proudu, kde kladný pól zdroje je připojen na drátovou elektrodu. Současné zdroje mají řadu nadstandardních funkcí, které výrazně zlepšují svařovací proces, jako jsou: horký start pro zajištění natavení začátku svaru, databáze svařovacích programů pro velkou většinu přídavných materiálů a synergické řízení svařovacího procesu. Při synergickém řízení jsou jedním manuálně nastaveným parametrem – tloušťkou materiálu, proudem nebo rychlostí podávání ovládány všechny ostatní svařovací parametry.

Charakter přenosu kovu obloukem závisí na parametrech svařování a ochranném plynu, přičemž běžný je zkratový pro tenké plechy a sprchový pro větší tloušťky plechů. U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem a vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí 1700 až 2500 °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemickém složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C.

V důsledku vysokých proudů se svařovací rychlosti blíží hranici 150 cm.min⁻¹ a rychlost kapek přenášených obloukem přesahuje 130 m.s⁻¹.

Uplatnění těchto metod v průmyslu je obrovské. Metoda MAG patří k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Svařování MIG získává na důležitosti vlivem růstu objemu svařovaných konstrukcí vyráběných z neželezných slitin, především hliníku.



1. svařovaný materiál
2. elektrický oblouk
3. svar
4. plynová hubice
5. ochranný plyn
6. kontaktní průvlak
7. přidavný drát
8. podávací kladky
9. zdroj proudu

Obr. 8) Princip tavného svařování v inertním nebo aktivním plynu - MIG/MAG. [8]

Technologické výhody metod MIG/MAG:

- minimální tvorba strusky
- vysoká efektivita
- snadný start oblouku bez nárazu svařovacího drátu do svařence
- velmi dobrý profil svaru
- malá tepelně ovlivněná oblast především u vysokých rychlostí svařování
- vysoká proudová hustota
- vysoký výkon odtavení
- malý nebo žádný rozstřík kovu elektrody
- snadná aplikace metody na robotizované a mechanizované systémy

6.1.4) Ekonomická bilance metod svařování v ochranných plynech

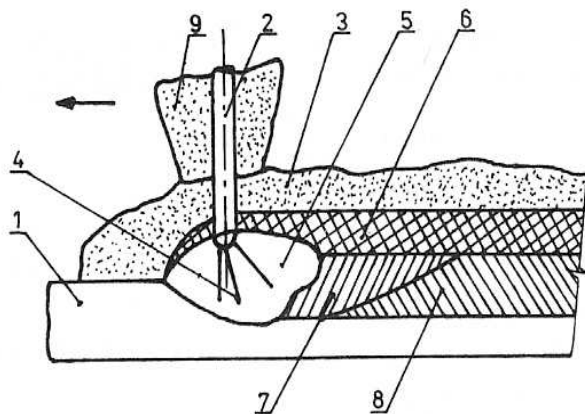
Svařování v ochranných atmosférách představuje především díky své vysoké produktivitě, dostatku vhodných a cenově dostupných zdrojů jednu z nejvýhodnějších svařovacích variant.

Jediným závažnějším finančním faktorem může být cenová úroveň ochranných plynů. Oxid uhličitý oproti argonu s heliem je mnohem levnější a taky více dostupnější. Má však horší vlastnosti.

Tyto metody lze provozovat v ručním, poloautomatickém i automatickém režimu. Svařovací zařízení je obdobné. U ručního svařování je technologická hlavice vybavena místo přípojného zařízení rukojetí. Z finančního hlediska bych volil ruční nebo plně automatický režim, z důvodů jejich použití. Ruční je často využíváno v kusové výrobě. Je však třeba počítat s její nepřesností. Automatický způsob je pohodlný a efektivní. Poloautomatické řešení se v praxi už tolik nevyskytuje.

6.1.5) Svařování elektrickým obloukem pod tavidlem [1],[8]

Svařování pod tavidlem je metoda založená na hoření oblouku pod vrstvou sypkého tavidla. Teplem oblouku se taví drát, základní materiál a část tavidla v kaverně vytvořené ve vrstvě tavidla a naplněné parami kovu a strusky.



- 1 - základní materiál
- 2 - přídavný materiál – drátová elektroda
- 3 - tavidlo
- 4 - elektrický oblouk
- 5 - kaverna - oblast hoření oblouku
- 6 - natavená struska
- 7 - tavná lázeň
- 8 - násypka tavidla

Obr. 9) Princip svařování pod tavidlem [8]

Zdroje svařovacího proudu jsou především transformátory s výstupem střídavého proudu, vhodné pro neutrální a kyselé tavidla nebo stejnosměrného proudu pro bazické tavidla

Přídavné materiály jsou ve formě drátu leskle taženého za studena. Mají malý obsah fosforu a síry a zpravidla vysoký obsah manganu.

Zařízení určené pro svařování pod tavidlem se skládá ze tří základních částí:

- a) vlastní svařovací zařízení
- b) řídící skříň
- c) zdroj svařovacího proudu

Technologické výhody:

- vysoká produktivita svařování
- zvýšená kvalita svarů
- velká proudová hustota i při tenkém svařovacím drátu
- velký průvar do základního materiálu

Technologické nevýhody:

- zvýšená nároky na přípravu svarových ploch a jejich čistotu
- zakrytý svařovací proces a obtížnost jeho kontroly

Svařování pod tavidlem nepředstavuje velký objemový podíl na celkové produkci výroby. Podle toho, zda se podávací zařízení s přídavným drátem pohybuje ručně či automaticky hovoříme o poloautomatickém nebo automatickém svařování.

Svařování pod tavidlem se využívá od tloušťky 3 mm. Ekonomicky výhodné je především u tloušťek nad 50 mm, kdy se svařuje do tzv. úzkého úkosu s úhlem rozevření 0 až 8°.

Uplatnění svařování pod tavidlem je při svařování tlustostěnných tlakových nádob nebo při výrobě lodních, mostních a jeřábových konstrukcí.

6.2) Speciální metody tavného svařování

6.2.1) Laserové svařování [1],[9],[10]

Laserová metoda svařování pracuje na principu zesílení světla stimulovanou emisí záření. Řídí se základními zákony kvantové elektroniky a podstatou vynucené emise záření, kterou popsal v roce 1917 Albert Einstein.

A. Einstein vysvětlil vybuzení atomů aktivního prostředí ozáření vlnou s příslušnou frekvencí kmitání. Kvant vnějšího elektromagnetického záření (foton) s energií rovnající se rozdílu energetických hladin dle rovnice 1 dopadá na atom (iont, molekulu), který je ve vybuzeném (excitovaném) stavu na hladině E_2 . Vlivem vnějšího podnětu se vybuzený atom vrací na základní hladinu, přičemž emituje nový foton se stejnou energií jakou má iniciační foton. Ze zdroje (kavity) tedy vychází svazek fotonů, který prochází zrcadlem s přesně definovanou propustností. Toto zrcadlo propustí jen fotony o stejné vlnové délce a tak vytvoří souvislý laserový paprsek procházející optickou dráhou ze které je veden do místa sváru.

Energie fotonů se rovná rozdílu energetických hladin:

$$h \cdot f_{12} = E_2 - E_1 \quad (\text{rovnice 1})$$

kde h je Planckova konstanta $6,63 \cdot 10^{-34}$ J.s

f_{12} je frekvence kmitání odpovídající přechodu E_1 až E_2 .

Fokuseovaný svazek fotonů má tyto hlavní vlastnosti:

- vysoká hustota výkonu v dopadové ploše (pro svařování 10^4 až 10^8 W.cm⁻²)
- záření o jedné vlnové délce – monochromaticnost
- velmi mála divergence (rozbíhavost) svazku fotonů
- výkon lze velmi přesně dávkovat a reprodukovat
- svazek fotonů lze soustředit na velmi malou plochu o průměru až 10 μm
- svazek prochází i průzračným prostředím

Většinou se svařuje bez přídavných materiálů. Vývoj však směřuje i k využití drátových přídavných materiálů. Svařování u laseru probíhá metodou klíčové dírky. Princip klíčové dírky spočívá v tom, že laserová energie taví a vypařuje kov, který se vlivem tlaku par přemísťuje tak, že se vytvoří dutina. Okolní natavený kov s posuvem laserového hořáku ve směru svařování tuto klíčovou díрку zaplní a vytvoří svár.

V průmyslu jsou využívány dva hlavní typy laserů - pevnolátkový a plynový. U pevnolátkového laseru se pro generování laserového světla používají pevnolátkové laserové média, jako jsou (rubín, Nd:YAG jehož složení je neodým, yttrium, hliník a garnet, a další). Plynový laser pracuje buď s plynem nebo s párou. Nejčastěji se používá plynový CO₂ laser.

Výborné výsledky svařování se dosahují u vysokolegovaných ocelí, niklu a molybdenu. Lasery umožňují velmi rychlý ohřev a svařování materiálů s vysokou tepelnou vodivostí – měď, stříbro, hliník i materiály s vysokou teplotou tavení wolfram, molybden, titan a další. Obecně je svařitelnost laseru podobná metodě WIG.

Výhody svařování laserem:

- provoz laseru je čistý, bez potřeby přídavných materiálů a odpadů
- vysoká rychlost svařování
- možnost svařovat tloušťky od několika mikrometrů do 15 mm
- svařování tenkých plechů v průmyslu bez ochranné atmosféry
- snadná automatizace procesu

Nevýhody svařování laserem:

- vysoká přesnost svařovaných dílů
- odrazivost paprsku (může být až 65%)
- energeticky náročný provoz
- malá účinnost

Z důvodů bezpečnosti a vedení paprsku optikou je laserová technologie provozována pouze v plně automatizovaném režimu.

Aplikace laseru proniká téměř do všech oblastí lidské činnosti a je stále více využíván. Ve svařování představuje velice perspektivní metodu. Jeho limitujícím faktorem je pořizovací cena. Je proto využíván ve velkých, například automobilových podnicích nebo pro speciální účely.

6.2.2) Plazmové svařování [1],[9]

Princip svařování plazmou je založen na ionizaci plynu (uvolnění elektronů v atomu) při průchodu elektrickým obloukem (rovnice 3).

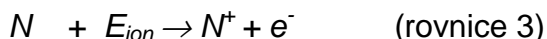
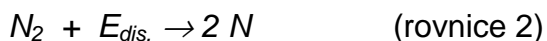
U dvouatomových plynů (dusík, vodík a kyslík) musí nejprve proběhnout disociace plynu (rovnice 2), při které dochází k rozložení molekul plynu na atomy.

Na ionizaci plynů je potřeba značná energie. V technické praxi se často jako zdroj tepla používá elektrický oblouk, který je kontrahován a zvýšením teploty se dosáhne vyššího stupně ionizace.

Z ekonomického hlediska se stejně jako u laseru využívá princip klíčové dírky. Tento styl umožní svařovat tupé sváry a snižuje spotřebu přídavného materiálu.

Vlastní princip je odvozený od svařování metodou WIG, kde keramická hubice je nahrazena kovovou tryskou chlazenou vodou nebo plynem.

Disociace a ionizace dusíku :



kde E_{dis} je potřebná energie na disociaci a E_{ion} je ionizační energie

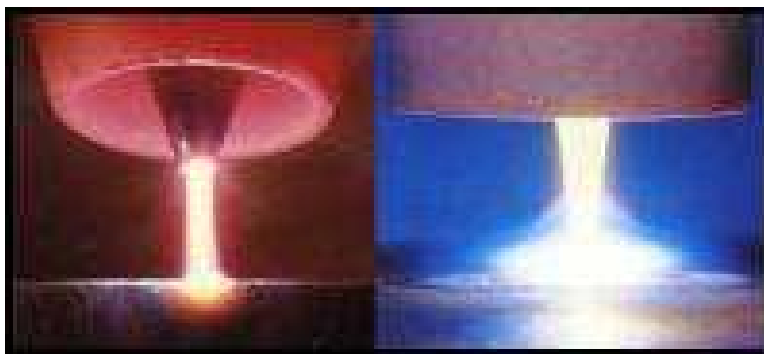
Pro používaná prostředí platí tyto přibližné průměrné teploty plazmy :

dusíková plazma	do	9 000 K
vodíková plazma		10 000 K
argonová plazma		16 000 K
heliová plazma		20 000 K
plazma stabilizovaná vodou	až	35 000 K

Při ohřevu plynu obloukem se mnohonásobně zvyšuje jeho objem a tím výstupní rychlost plazmy dosahuje vysokých hodnot. Dynamická účinnost dopadající plazmy spolu s vysokou teplotou umožňuje proniknutí paprsku v celém průřezu materiálu.

Svažitelnost materiálů i parametry svařování jsou u plazmového svařování podobné metodě WIG. Plazma však dosahuje vysoké svařovací rychlosti, výhodnější poměr šířky k hloubce (1:1,5 až 1 : 2,5) a spolehlivé provaření kořene. Svažují se tedy všechny druhy ocelí, měď, hliník, titan, nikl a jejich slitiny. V porovnání s laserem má plazma vyšší energetickou účinnost a nižší provozní náklady.

Plazmová metoda může být realizována v ručním a automatickém provedení. U ručního svařování plazmou musí být zajištěno dokonalé ochrany pracovníka. Plazma je totiž výjimečná svojí vysokou teplotou a ultrafialovým zářením. Ruční metoda je levnější. Uplatňuje se hlavně na opravy svařovaných dílů. Automatická metoda je více přijatelná a ekonomičtější v sériové výrobě.



Obr. 10) Porovnání plazmového paprsku – vlevo s paprskem WIGu – vpravo [9]

Výhody plazmového svařování:

- jednoduchá úprava svarových ploch středních tloušťek
- velmi dobrý průvar i tvar svaru
- vysoká čistota svaru bez pórů a bublin
- dobré mechanické vlastnosti svarového spoje
- možnost svařování střídavým i impulsním proudem

Nevýhody plazmového svařování:

- výrazné ultrafialové záření
- vysoké investiční náklady

Metoda svařování plazmou se může aplikovat v různých režimech. Mikroplazmové svařování umožňuje svařovat tenké kovové fólie při nízkém proudu. Je charakteristická vysokou stabilitou hoření oblouku. Systém Plazma – MIG spojuje výhody plazmového oblouku s výhodami MIGu. Přenos kovu je klidný a bez rozstřiku.

Hlavní využití mikroplazmového svařování je v přístrojové technice, potravinářském, elektrotechnickém, leteckém a kosmickém průmyslu. Systém Plazma – MIG je využívána v leteckém průmyslu.

6.2.3) Elektronové svařování [1],[9]

Svařování svazkem elektronů je proces tavného svařování, při kterém se kinetická energie rychle letících elektronů mění při dopadu na povrch svařovaného materiálu v tepelnou.

Vlastní zdroj elektronů je válcová vakuovaná nádoba na jednom konci opatřená přímo nebo nepřímo žhavenou emisní elektrodou a na druhém konci vybavená oddělovacím uzávěrem, který je kombinovaný s hranolem pozorovací optiky. Zdroj elektronů bývá nazýván elektronové dělo a je pomocí rotační nebo difúzní vývěvy čerpán na vysoké vakuum z důvodu zajištění termoemise elektronů, tepelné a chemické izolace katody, zamezení vzniku oblouku mezi elektrodami a zamezení srážkám elektronů s molekulami vzduchu.

Svazek elektronů je fokusován pomocí magnetických polí do místa dopadu, z důvodu rozbíhavosti vlivem odpudivých sil.

Při dopadu elektronů na povrch materiálu dochází k jejich částečnému odrazu (až 70%). Zbývající elektrony pronikají do hloubky několika desítek mikrometrů. Svár se tvoří metalurgickým natavením obou polovin svařované součásti.

Přídavný materiál se u tohoto způsobu používá jen výjimečně (drát, prášek)

Výhody svařování svazkem elektronů:

- úzká natavená a tepelně ovlivněná oblast svaru
- minimální deformace
- svařitelnost širokého sortimentu materiálů a jejich kombinací
- vysoký stupeň automatizace bez ovlivnění svaru lidským činitelem

Nevýhody metody:

- vysoké nároky na čistotu svarových ploch a jejich přesné opracování
- nutnost vakua a dlouhý čas na jeho čerpání
- požadavek vnitřní čistoty materiálů
- vznik rentgenového záření
- odrazivost elektronů

Vlastní svařování probíhá v pracovní vakuové komoře, kde svařovací pohyb je zajištěn programovatelným polohovadlem s několika stupni volnosti. Elektronové svařování se proto provádí pouze automaticky.

Svarové spoje vyhovují i velmi náročným podmínkám současné technické praxe. Především z finančních důvodů vyplývá, že dnešní využití se nachází ve špičkových oborech jako jsou letecký průmysl, kosmonautika nebo automobilový průmysl, ve kterých není finanční stránka tolik omezená.

Na obrázku 11 je několik pěkných ukázek strojních součástí které vznikly pomocí elektronového svařování. Dole na obrázku automobilové části, žlutá plynová turbína, vlevo nahoře ukázka svařování mědi a oceli a další strojírenské součásti.

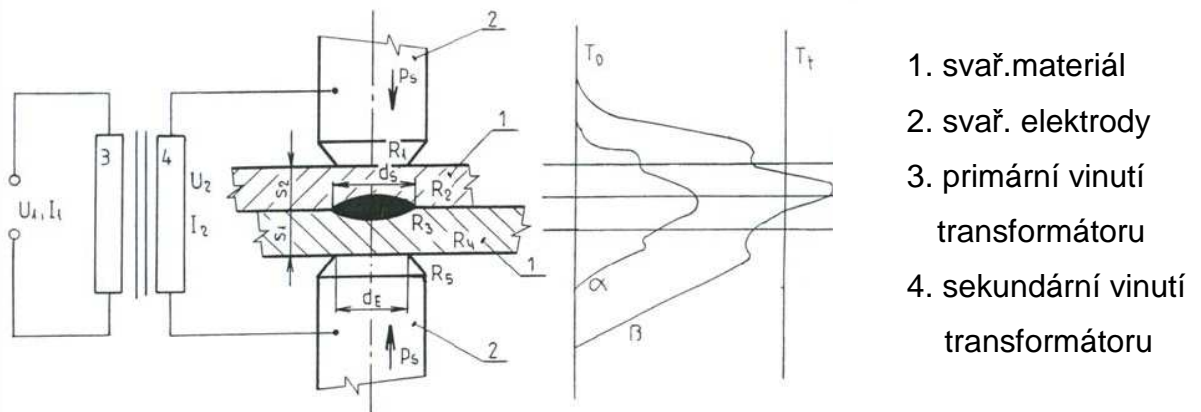


Obr. 11) Ukázka aplikací svařování svazkem elektronů [9]

6.3) Tlakové svařovací metody

6.3.1) Odporové svařování bodové [1],[9]

Princip metody spočívá v průtoku elektrického proudu svařovaným místem, kdy se materiál svařovaných součástí ohřeje odporovým teplem, stane se tvárným popř. se roztaví, načež se materiály stlačí a tím dojde ke spojení. Zdrojem tepla je elektrický odpor v místě styku svařovaných materiálů (přechodový odpor).



obr. 12) Princip svařování el. odporem a průběh rozložení teplot [9]

Parametry svařování u odporové metody jsou :

- svařovací proud $I_s = 10$ až 10^5 A
- přítláčná síla $P_s = 500$ až $10\,000$ N
- svařovací čas $t_s = 0,04$ až 2 s

V odporovém svařování se uplatňují dva typy režimů – tvrdý a měkký. Tvrdý režim je charakteristický vysokým proudem a krátkým časem. Vyžaduje současně vyšší přítláčnou sílu - uplatňují se stroje velkých příkonů. Celkově však snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod. Měkký pracuje při nižším svařovacím proudu dodaným v delším čase. Nevyžaduje stroje velkého příkonu, protože se pracuje s nižší přítláčnou silou. Je ale doprovázen hrubozrnnou (méně pevnou) strukturou.

Pro vytvoření svarového spoje platí určité zásady:

- čistota svarových spojů
- kolmost svarových spojů
- pro odporové stykové svařování přednostně používáme metodu s odtavením

Výrazný vliv na kvalitu svarových spojů, především při svařování rozdílných materiálů, rozdílných tloušťek a podobně, má tepelná rovnováha obou provařených součástí. Pro správnou rovnováhu se využívá několik řešení, například volba průměru elektrod.

Na kvalitním sváru tedy záleží správná volba parametrů, ale i jejich svařovacího programu (základní, s předehřevem, se žiháním).

Stroje pro odporové bodové svařování jsou tzv. bodovačky a podle provedení je lze dělit na: a) závěsné bodovky

b) bodové svářečky stabilní

c) bodové svářečky speciální

Každá odporová svářečka má dvě části – elektrickou a mechanickou. Elektrická zajišťuje ohřívání svařovaného materiálu v místě sváru a mechanická upnutí a přitlačování materiálů.

Všechny odporové svářecí stroje jsou konstruované na hlavní technologické zásadě, že svářecí proud je do svařovaného předmětu zaveden až po dosažení svařovacího tlaku P_s (s určitým časovým zpožděním).

Výhody odporového svařování bych viděl v krátkém pracovním čase, což zaručuje vysokou produktivitu. Nevýhoda této metody souvisí s velkým energetickým odběrem (tvrdý režim). Tento fakt je nutno vzít v úvahu při dimenzování elektrických rozvodů kvůli výpadkům energie z důvodu náhlého přetížení sítě. Podniky pracující s odporovým svařováním by proto měli mít dobrou energetickou situaci.

Odporové bodové svařování lze využívat jak ručně, tak i automaticky. Především ruční způsob stále nachází velkého uplatnění v automatizované výrobě. Robot není schopen vytvořit svar v libovolném místě, především kvůli konstrukci stroje a parametrů technologické hlavičky. Tyto místa jsou následně svařeny ručně. Obě dvě metody se tedy vzájemně doplňují.

Nejvýznamnější aplikací, kde je možno pozorovat ruční i automatické nasazení bodovaček je v automobilovém průmyslu (karosérie aut). Další využití je v oblasti vzduchotechniky, krytování strojních zařízení a jiné.

6.3.2) Ultrazvukové svařování [1],[9]

Ultrazvukový způsob svařování využívá mechanického kmitání o vysoké frekvenci – ultrazvuku. Zdroj kmitání se skládá z ultrazvukového měniče, jehož vinutí je napájeno elektronickým vysokofrekvenčním generátorem proudu o frekvenci 4-100 kHz. V současnosti se využívá zařízení využívající podélných, ohybových nebo torzních kmitů.

Počátek svařování je charakteristický vzájemným působením tlaku a kmitání přičemž dochází nejprve k narušení oxidické vrstvy a odstranění nečistot. V další fázi se spoj tvoří plastickou mikrodeformací a difuzí při relativně nízké teplotě.

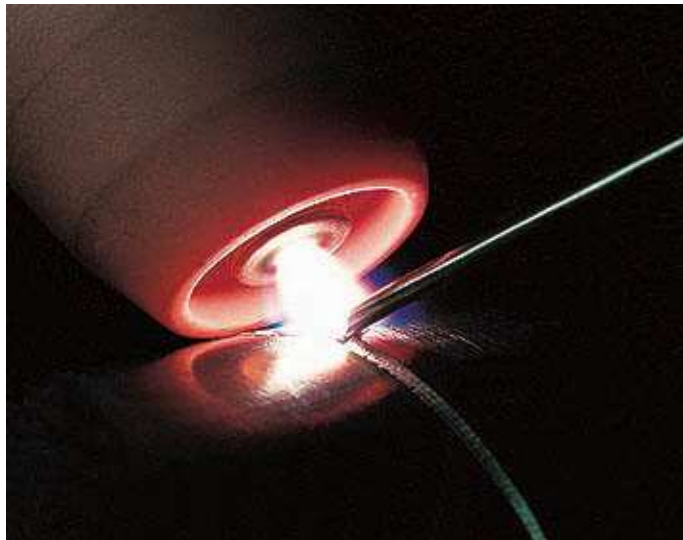
Při vhodných parametrech svařování není materiál tepelně ovlivněn. Výhodně se svařují materiály s kubickou, plošně centrovanou mřížkou – hliník, měď, nikl.

Hlavní parametry svařování jsou především:

- amplituda výchylky svařovací špičky [mm]
- přítláčná síla [N]
- frekvence ultrazvukového vlnění [Hz]
- svařovací čas [sec]

Svařitelnost materiálů je velmi široká a kromě stejných kovů, lze spojovat i celou řadu různorodých materiálů. Například hliník a jeho slitiny jsou svařitelné téměř se všemi kovy. Dále také měď, železo a stříbro.

S ultrazvukovým svařováním se pracuje pouze automaticky. Použití metody je vhodné tam, kde jiné technologie jsou nevyhovující. Nejčastěji v oblasti elektroniky, elektroniky a letectví. Velmi rozšířené je taky při svařování plastů v oblasti všeobecného strojírenství a potravinářství.



Obr. 13) Hoření plazmového oblouku [9]

7) Závěr

Provedená bakalářská práce shrnuje poznatky o technologii svařování, které jsem získal studiem literárních podkladů a během své praxe v strojírenském podniku. Tam jsem měl možnost setkat se s většinou popisovaných metod včetně přístrojů a zařízení.

V první části práce se věnuji vzniku této technologie a jejímu historickému vývoji. Jedná se o informace dříve publikované v odborné literatuře, které jsou všeobecně známé a dostupné široké veřejnosti. Tyto informace jsem se snažil dále doplnit o problematiku automatizace svařování, která představuje výrazný modernizační trend v těchto technologiích.

Největší přínos této práce bych viděl v provedeném rozboru problematiky svařovacích zařízení. To se týká zejména svařovacích automatů, kde jsem uplatnil velké množství zajímavých údajů získaných v praxi. Protože tato problematika není v odborné literatuře ještě v dostupné literatuře dostatečně popsána, může být tato část zajímavá i pro širší technickou veřejnost. Informace o robotech jsou v literatuře lépe a podrobněji popsány, proto jsem ve své práci soustředil na jejich přehlednou rešerši. Tato rešerše je rovněž doplněna některými konkrétními údaji z praxe. Myslím si, že i popis této problematiky může být pro čtenáře zajímavý. S přihlédnutím k těmto skutečnostem považuji tuto část práce za dostatečně zvládnutou.

Závěrečná část bakalářské práce se soustřeďuje na popis konkrétních svařovacích technologií v souladu se zadáním tématem. Tato část přináší přehled většiny známých svařovacích technologií, o principu jejich fungování, jejich výhodách a nevýhodách a možnostech uplatnění v průmyslu. Svařovací technologie lze rozdělit na dvě základní skupiny – tavné a tlakové. Do obou skupin jsem zařadil ty metody, které jsou pro automatizované svařování vhodné nebo umožňují aplikaci speciálních technologických řešení (kosmický výzkum, automobilová technika a další). Tento výčet není absolutní, protože řadu svařovacích technologií nemá v dosavadní průmyslové praxi významnější zastoupení (například svařování třením).

Tato bakalářská práce soustřeďuje literární informace z oblasti svařování a konkrétní praktické poznatky získané na některých technologických pracovištích.

Práci doporučuji začínajícím technikům a studentům technických oborů k základní orientaci v dané problematice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AMBROŽ,O., KANDUS,B., KUBÍČEK,J. Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 1.vyd. Vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování, Ostrava, srpen 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [2] BARTÁK,J., a KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, Vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování, Ostrava, únor 2000. ISBN 80-85771-72-1.
- [3] UHER,V., a KOLEKTIV AUTORŮ. Zváracie metódy a zariadenia. II diel učebných textov pre kurzy zvaračských technologov, prvé vydanie. Vydalo zvaračské vydavateľstvo ZEROSS v Ostravě, Ostrava, december 2000. ISBN 80-85771-84-5.
- [4] CHVÁLA.B., NEDBAL.J.,DUNAY.G. Automatizace Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha, 1987, 603 s.
- [5] CHVÁLA.B., MATIČKA.R.,TALÁCKO.J. Průmyslové roboty a manipulátory Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha, 1990. ISBN 80-03-00361-X.
- [6] KUNCIPÁL.J a KOLEKTIV AUTORŮ Svařování pro konstruktéry a technology Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha, 1980.
- [7] DVOŘÁK.M. a KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie II. Vydalo Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [8] KUBÍČEK. J., Technologie II. část svařování, díl 1 – Základní metody tavného svařování. [online]. Dostupné na <<http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>>.
- [9] KUBÍČEK. J., Technologie II. část svařování, díl 2 - Speciální metody tavného svařování, Tlakové svařování. [online]. Dostupné na <<http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>>.
- [10] KSK-Svařovací automaty [online] dostupné na www.kskct.cz/stroje/sa/sa.html
- [11] The ABB Group [online] dostupné na <http://www.abb.com/product/us/9AAC100735.aspx>
<<http://www.abb.com/product/seitp327/4a4f8010bf165ad5c1256f630040f392.aspx?productLanguage=cz&country=00>>
- [12] Fronius CZ: Produkty [online] dostupné na [www.3.fronius.com/worldwide/ceska.republika/produkte/produkte.htm](http://www3.fronius.com/worldwide/ceska.republika/produkte/produkte.htm)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
WIG	wolfram inert gas	[-]
MIG	metal inert gas	[-]
MAG	metal active gas	[-]
kavita	zdroj svařování u pevnolátkového laseru	[-]
h	Planckova konstanta	[J.s]
f_{12}	frekvence kmitání	[Hz]
E	Energie fotonu	[J]
CO_2	Oxid uhličitý	[mol]
I_s	svařovací proud	[A]
P_s	přítlačná síla	[N]
t_s	svařovací čas	[s]

